



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

电机与拖动

第②版

刘 玫 孙雨萍 编著



附赠电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

电机与拖动

第 2 版

刘 玫 孙雨萍 编 著



机械工业出版社

本书共9章,包括电机理论中常用的基本知识和基本定律、直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、三相同步电机、控制电机、电动机容量的选择等内容。书中简要介绍了“电机与拖动”课程中常用的基本知识和基本定律,着重讲述了各类电动机和变压器的基本结构、基本工作原理、内部电磁关系及工作特性等;重点讨论了电力拖动系统的起动、调速及制动时的运行性能与相关问题,并对电动机的容量选择进行了一般介绍。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等相关专业的本科教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/刘玫,孙雨萍编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2016.8

21世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-55283-3

I. ①电… II. ①刘… ②孙… III. ①电机—高等学校—教材②电力传动—高等学校—教材 IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第261790号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:时静 责任编辑:时静

责任校对:刘怡丹 责任印制:李昂

北京中兴印刷有限公司印刷

2017年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm·24印张·600千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55283-3

定价:59.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmpl952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

出版说明

随着科学技术的不断进步,自动化水平和信息化水平的长足发展,社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中,电气信息类(Electrical and Information Science and Technology)包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术及生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

电气信息类专业及学科的迅速发展,给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下,只有将新知识、新技术和新领域逐渐融合到教学和实践环节中去,才能培养出优秀的科技人才。为配合高等院校的教学需要,机械工业出版社组织出版了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业的教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的,期间,与高等院校相关课程的主讲老师进行了广泛的交流和探讨,旨在构建体系完善、内容全面新颖且适合教学的专业材料。

本套教材涵盖多层面专业课程,定位准确,注重理论与实践、教学与教辅的结合,在内容的叙述上力求准确、通顺、简明扼要,适合各高等院校电气信息类专业的学生使用。

机械工业出版社

前 言

根据自动化类专业的特点与现阶段教学改革的要求,作者结合多年来在“电机学”及“电力拖动”课程的教学实践中所积累的教学研究成果,编写了本教材。力求做到教材内容由浅入深、通俗易懂、理论联系实际,将经典内容与最新成果结合起来,使学生既能掌握经典内容,又能了解电力拖动领域的最新研究动态和成果。

本书共9章,主要包括4大部分:电机学;电力拖动;控制电机;电力拖动系统中电动机的选择。主要内容有:直流电机、变压器、交流电机、同步电机及控制电机的基本结构、基本工作原理、内部电磁关系、基本方程式、工作特性等。着重分析了各种电动机在带负载状况下的起动、制动与调速时的运行性能及相关问题,并通过实验和仿真以加深对相关内容的理解。另外,对于电力拖动系统中电动机容量的正确选择进行了一般介绍。

本书的主要特点有:

1) 将“电机学”与“电力拖动”课程有机地结合为一个整体,在论述了每一种类型电机的工作原理后,接着论述该类电机拖动负载的运行性能,较好地进行了内容衔接,使学生接受内容顺畅,且节省授课时间。

2) 侧重于基本理论知识、计算方法及分析方法的阐述,并注意将上述三种基本知识应用到实际的电力拖动系统中。

3) 采用了参考国外教材并与国内教材相结合的编写方式。吸收了国外教材中先进的思想和内容,结合我国教学体系的具体情况和国内教材的体系结构,使得本书既保持内容的先进性又符合国内的教学体系。

4) 为使本书内容与工程实际紧密结合,在有关章节中给出了工程实例,使基础理论和工程实践相结合。

5) 书中引入了本学科领域的先进成果,如三相笼型异步机的软起动、无刷直流电机、直线电机等内容,使学生能了解电力拖动领域的最新研究动态和成果。

6) 每一章都单独安排了内容简介、本章重点、本章难点、本章小结、思考题以及练习题等内容,使学生有的放矢地学习,方便复习和练习。

本书配有多媒体课件。

本书是在作者原讲稿的基础上编写而成的,参考并汲取了国内外许多优秀教材中的精华和营养,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

本书绪论及第1、2、3、6、7、9章由刘玫教授编写,第4、5、8章由孙雨萍教授编写。研究生张婧宇进行了部分绘图和排版工作,研究生李凤鸣、陈燕、衣文凤进行了部分文稿的录入工作,在此一并表示感谢。

本书可作为自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的本科学生的教材;对

于从事运动控制领域的工程技术人员，本教材也有一定的参考价值。

由于作者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

2016 年 4 月

目 录

出版说明

前言

绪论	1
0.1 电机与电力拖动系统	1
0.2 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用与发展趋势	1
0.2.1 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用	1
0.2.2 电机与电力拖动技术的发展概况	2
0.3 本课程的性质、内容和任务	3
0.4 本课程的学习方法	4
第1章 电机理论中常用的基本知识和基本定律	6
1.1 磁场的基本知识	6
1.1.1 电流的磁效应	6
1.1.2 磁路的几个基本物理量	7
1.2 安培环路定律	7
1.3 磁路的欧姆定律	8
1.4 电磁感应定律	9
1.5 电磁力定律	10
1.6 电路定律	10
1.7 常用的铁磁材料及其特性	11
1.7.1 铁磁材料的磁化特性	11
1.7.2 铁磁材料的损耗	13
本章小结	15
思考题	15
练习题	16
第2章 直流电机	18
2.1 直流电机的工作原理	18
2.1.1 直流电动机的工作原理	18
2.1.2 直流发电机的工作原理	20
2.1.3 直流电机的可逆原理	20
2.2 直流电机的结构、额定值及主要系列	21
2.2.1 直流电机的结构	21
2.2.2 直流电机的额定值	23
2.2.3 国产直流电机的主要系列	24
2.3 直流电机的电枢绕组	24
2.3.1 电枢绕组的一般知识	24

2.3.2 单叠绕组	26
2.3.3 单波绕组	28
2.4 直流电机的磁场	30
2.4.1 直流电机的励磁方式	30
2.4.2 直流电机的空载磁场	31
2.4.3 直流电机的电枢反应和负载磁场	32
2.5 直流电机的电枢感应电动势和电磁转矩	34
2.5.1 直流电机的电枢感应电动势	35
2.5.2 直流电机的电磁转矩	36
2.6 直流电动机的运行原理	37
2.6.1 直流电动机的基本方程式	38
2.6.2 并励直流电动机的工作特性	41
2.6.3 他励直流电动机的机械特性	42
2.6.4 串励直流电动机的机械特性	49
2.6.5 复励直流电动机的机械特性	50
2.7 直流发电机的运行原理	50
2.7.1 直流发电机的基本方程式	51
2.7.2 直流发电机的工作特性	53
2.7.3 并励直流发电机的自励过程和自励条件	54
2.8 直流电机的换向	56
2.8.1 直流电机换向过程的物理现象	57
2.8.2 改善换向的方法	59
2.8.3 环火与补偿绕组	59
本章小结	60
思考题	62
练习题	63
第3章 直流电动机的电力拖动	65
3.1 电力拖动系统的动力学基础	65
3.1.1 单轴电力拖动系统的运动方程式	65
3.1.2 多轴电力拖动系统的运动方程式	67
3.2 各类生产机械的负载转矩特性	72
3.2.1 恒转矩负载特性	72
3.2.2 通风机负载特性	73
3.2.3 恒功率负载特性	73
3.2.4 实际的负载特性	74
3.3 电力拖动系统稳定运行的条件	74
3.3.1 电力拖动系统平衡运转的概念	74
3.3.2 电力拖动系统稳定运行的概念	75
3.3.3 电力拖动系统稳定运行的条件要求	76
3.4 直流电力拖动系统的动态分析	77
3.4.1 电力拖动系统的机械过渡过程	77
3.4.2 电力拖动系统的机械-电磁过渡过程	81

3.5 他励直流电动机的起动	83
3.5.1 他励直流电动机直接起动时存在的问题	84
3.5.2 他励直流电动机的起动方法	84
3.6 他励直流电动机的调速	89
3.6.1 调速的性能指标	90
3.6.2 调速方法	92
3.6.3 调速方式与负载类型的配合	95
3.7 他励直流电动机的制动	102
3.7.1 他励直流电动机的能耗制动	102
3.7.2 他励直流电动机的反接制动	106
3.7.3 回馈制动	110
3.7.4 制动状态小结	112
3.8 工程中的实例分析	115
本章小结	117
思考题	119
练习题	120
第4章 变压器	123
4.1 变压器的基本工作原理和结构	123
4.1.1 变压器的基本结构	123
4.1.2 变压器的基本工作原理	125
4.1.3 变压器的额定值及分类	126
4.2 单相变压器的空载运行	127
4.2.1 变压器空载运行时的电磁关系	127
4.2.2 空载运行时的电压方程式、等效电路及相量图	130
4.3 单相变压器的负载运行	131
4.3.1 变压器负载运行的电磁关系	131
4.3.2 变压器负载运行的基本方程式	132
4.3.3 变压器负载运行的等效电路及相量图	133
4.4 变压器的参数测定	136
4.4.1 空载试验	136
4.4.2 短路试验	137
4.5 标幺值	138
4.5.1 标幺值的概念	138
4.5.2 基值的选取及标幺值的计算	139
4.6 变压器的运行性能和特性	141
4.6.1 变压器的电压变化率及外特性	141
4.6.2 变压器的效率特性	143
4.7 三相变压器	145
4.7.1 三相变压器的磁路系统	146
4.7.2 三相变压器电路系统——联结组	146
4.7.3 三相变压器电路系统及磁路系统对电动势波形的影响	149
4.8 变压器的并联运行	151

4.8.1 变压器并联运行的条件	151
4.8.2 对并联运行条件的分析	152
4.9 其他用途的变压器	154
4.9.1 自耦变压器	154
4.9.2 仪用互感器	155
本章小结	156
思考题	157
练习题	158
第5章 异步电动机	160
5.1 三相异步电动机的结构及额定值	160
5.1.1 三相异步电动机的结构	160
5.1.2 三相异步电动机额定值及主要系列	162
5.2 异步电动机的定子绕组	163
5.2.1 交流绕组的构成原则及分类	163
5.2.2 交流绕组的基本知识	163
5.2.3 三相双层绕组	164
5.2.4 三相单层绕组	168
5.3 三相异步电动机的定子磁动势与磁场	170
5.3.1 单相绕组的磁动势	170
5.3.2 三相绕组的合成磁动势	175
5.4 三相异步电动机定子绕组的感应电动势	178
5.4.1 导体的感应电动势	178
5.4.2 整距线圈的感应电动势	179
5.4.3 短距线圈的感应电动势	180
5.4.4 线圈组的电动势	180
5.4.5 相电动势和线电动势	182
5.5 三相异步电动机的工作原理及运行状态	183
5.5.1 三相异步电动机的基本工作原理	183
5.5.2 三相异步电机的转差率与三种运行状态	183
5.6 三相异步电动机的电磁关系	184
5.6.1 三相异步电动机空载运行电磁关系	184
5.6.2 三相异步电动机负载运行电磁关系	186
5.6.3 转子静止时的三相异步电动机	187
5.6.4 转子转动时的三相异步电动机	187
5.7 三相异步电动机的基本方程式、等效电路和相量图	188
5.7.1 三相异步电动机的基本方程式	188
5.7.2 异步电动机的等效电路	189
5.7.3 异步电动机的相量图	192
5.8 三相异步电动机的功率与转矩	193
5.8.1 三相异步电动机的功率流程图及功率平衡方程式	193
5.8.2 三相异步电动机的转矩平衡方程式	195
5.9 三相异步电动机的参数测定	196

5.9.1 空载试验	196
5.9.2 短路试验	197
5.10 三相异步电动机的工作特性	198
5.10.1 三相异步电动机的工作特性	198
5.10.2 用直接负载法计算工作特性	199
5.11 单相异步电动机	201
5.11.1 单相异步电动机的工作原理	201
5.11.2 等效电路	202
5.11.3 起动方法	203
本章小结	204
思考题	205
练习题	206
第6章 三相异步电动机的电力拖动	207
6.1 三相异步电动机的机械特性	207
6.1.1 三相异步电动机机械特性的三种表达式	207
6.1.2 三相异步电动机的固有机械特性与人为机械特性	212
6.2 三相异步电动机的起动	215
6.2.1 三相异步电动机的固有起动特性	215
6.2.2 三相异步电动机的直接起动	216
6.2.3 三相笼型异步电动机的减压起动	217
6.2.4 三相笼型异步电动机的软起动	224
6.2.5 高起动性能的三相笼型异步电动机	226
6.2.6 三相绕线转子异步电动机的起动	228
6.3 三相异步电动机的调速	233
6.3.1 变极调速	234
6.3.2 变频调速	238
6.3.3 改变定子电压调速	242
6.3.4 绕线转子异步电动机转子串电阻调速	245
6.3.5 绕线转子异步电动机双馈调速及串级调速	247
6.3.6 利用电磁转差离合器调速(滑差电动机)	253
6.4 三相异步电动机的制动状态	254
6.4.1 反接制动	255
6.4.2 回馈制动	257
6.4.3 能耗制动	259
6.4.4 三相异步电动机制动状态小结	263
6.5 绕线转子电动机进行调速和制动时其电阻和转速的计算	263
本章小结	270
思考题	272
练习题	273
第7章 三相同步电机	276
7.1 三相同步电机的结构、工作原理及额定数据	276
7.1.1 三相同步电机的结构	276

7.1.2	三相同步电机的工作原理	278
7.1.3	三相同步电机的额定数据	279
7.1.4	三相同步电动机的型号	280
7.2	三相同步电动机的电枢反应	280
7.2.1	三相同步电动机空载时的磁场	280
7.2.2	三相同步电动机负载时的电枢反应	281
7.3	三相同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	285
7.3.1	三相隐极式同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	285
7.3.2	三相凸极式同步电动机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	287
7.4	三相同步发电机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	289
7.4.1	三相隐极式同步发电机的电动势平衡方程式、等效电路与相量图	289
7.4.2	三相凸极式同步发电机的电动势平衡方程式与相量图	290
7.5	三相同步电动机的矩角特性	291
7.5.1	功率和转矩关系	291
7.5.2	功角特性和矩角特性	291
7.5.3	同步电动机的稳定运行区与过载能力	293
7.6	三相同步电动机的功率因数调节与 V 形曲线	295
7.6.1	功率因数的调节	295
7.6.2	同步电动机的 V 形曲线	297
7.7	三相同步电动机的起动	298
7.7.1	异步起动法	299
7.7.2	辅助电动机起动法	299
7.7.3	变频起动法	300
	本章小结	300
	思考题	301
	练习题	302
第 8 章	控制电机	304
8.1	伺服电动机	304
8.1.1	直流伺服电动机	304
8.1.2	交流伺服电动机	306
8.1.3	交流伺服电动机与直流伺服电动机的性能比较	310
8.2	测速发电机	311
8.2.1	直流测速发电机	311
8.2.2	交流测速发电机	312
8.3	无刷直流电动机	315
8.3.1	无刷直流电动机的基本结构	315
8.3.2	无刷直流电动机的工作原理	315
8.3.3	无刷直流电动机的电磁转矩和运行特性	318
8.3.4	无刷直流电动机的 PWM 控制方式	319
8.4	步进电动机	321
8.4.1	反应式步进电动机的基本结构和工作原理	322
8.4.2	步进电动机的运行特性	324

8.5	自整角机	327
8.5.1	自整角机的结构及分类	327
8.5.2	力矩式自整角机的工作原理	328
8.5.3	控制式自整角机的工作原理	330
8.5.4	自整角机的应用举例	332
8.6	旋转变压器	332
8.6.1	旋转变压器的结构及分类	332
8.6.2	正余弦旋转变压器	333
8.6.3	线性旋转变压器	338
8.7	直线电动机	339
8.7.1	直线异步电动机	339
8.7.2	直线直流电动机	340
	本章小结	341
	思考题与练习题	343
第9章	电动机容量的选择	345
9.1	概述	345
9.2	电动机的发热与冷却规律	346
9.2.1	电动机的热平衡方程式	346
9.2.2	电动机的发热过程	347
9.2.3	电动机的冷却过程	348
9.2.4	电动机的工作方式	348
9.3	连续工作制电动机容量的选择	350
9.3.1	连续恒定负载下电动机容量的选择	350
9.3.2	连续周期变化负载时电动机容量的选择	351
9.4	短时工作制电动机容量的选择	356
9.4.1	选用连续工作制电动机	356
9.4.2	选用专为短时工作方式而设计的电动机	357
9.5	断续周期工作制电动机容量的选择	358
9.6	电动机容量选择的工程方法	362
9.6.1	用统计法选择电动机容量	362
9.6.2	用类比法选择电动机容量	362
9.7	电动机种类、额定电压、额定转速和型式的选择	363
9.7.1	电动机种类的选择	363
9.7.2	电动机额定电压的选择	363
9.7.3	电动机额定转速的选择	363
9.7.4	电动机型式的选择	364
	本章小结	364
	思考题	365
	练习题	365
	参考文献	369

绪 论

0.1 电机与电力拖动系统

电机是一种机电能量转换装置。以电磁场作为媒介将电能转换为机械能拖动机械负载，实现旋转或直线运动，这种类型的电机称为电动机；将机械能转变为电能，给用电负载供电，这种类型的电机称为发电机。

电机的类型很多，图 0-1 所示为按其功能和用途进行的分类。

用电动机拖动生产机械的拖动方式称为电力拖动，也称电气拖动。由电动机、生产机械及相关元件组成的系统称为电力拖动系统，其组成原理如图 0-2 所示。电力拖动系统一般由电动机、生产机械、传动机构、控制装置和电源 5 部分组成。电动机的作用是将电能转换为机械能，为生产机械提供动力，是生产机械的原动机；生产机械是直接进行工作的装置，在电动机的驱动下完成生产任务；传动机构的作用是在电动机和生产机械之间实现功率传递及速度与运动方式的配合，有时也可以不通过传动机构，将电动机直接与生产机械连接（如图 0-2 中虚线所示）；控制装置的作用是根据生产工艺要求控制电动机的运行，从而控制生产机械的运行；电源是向电动机和控制装置提供电能的设备。



图 0-1 电机类型

生产机械的原动机；生产机械是直接进行工作的装置，在电动机的驱动下完成生产任务；传动机构的作用是在电动机和生产机械之间实现功率传递及速度与运动方式的配合，有时也可以不通过传动机构，将电动机直接与生产机械连接（如图 0-2 中虚线所示）；控制装置的作用是根据生产工艺要求控制电动机的运行，从而控制生产机械的运行；电源是向电动机和控制装置提供电能的设备。

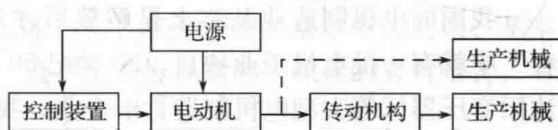


图 0-2 电力拖动系统

0.2 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用与发展趋势

0.2.1 电机与电力拖动系统在国民经济中的作用

在工农业生产、国防事业和人们的日常生活中，电能是最重要的能源之一。与其他能源相比，电能具有转换经济、传输和分配容易、使用和控制方便等优点。

电能通常是由其他形式的能量转换而来的，其中将机械能转换为电能的装置就是发电机。

电能的传输和分配离不开变压器。发电厂发出的电能通过电力网能够实现远距离传输，一般发电机输出的电压为 10~20kV，为了实现电能的远距离传输、减少传输损耗，常用变压器将发电机发出的电压升高至 110kV、220kV、330kV 或 500kV，甚至更高。电能被输送

到用电地区后，要经过变压器将电压降至用户要求的数值，才能供用户使用，如 220V、380V、6kV 和 10kV 等。通过电力网和变压器的升压及减压作用，能够很方便地实现电能的传输和分配。

电能的利用就是将电能转换为其他形式的能量。利用电动机将电能转换为机械能，拖动生产机械工作是电能利用的一个重要方面。用电动机拖动生产机械所组成的系统称作电力拖动系统。电力拖动系统具有如下优点：传动效率高、运行经济；电动机种类和规格繁多，能满足不同生产机械的需要；电力拖动系统的操作和控制方便，能实现自动控制和远程控制。

在现代工业企业中，几乎所有生产机械都是由电动机拖动的，如各种机床、生产线、风机、水泵等。可以毫不夸张地说，没有电动机、没有电力拖动技术，就没有现代化工业。可见，电机和电力拖动技术在国民经济中具有极其重要的作用。

0.2.2 电机与电力拖动技术的发展概况

1. 电机的发展概况

电机的问世与电机理论的发展已有一百多年的历史，经历了直流电机与交流电机的产生及形成两个阶段。1821 年法拉第 (Faraday) 首次发现了载流导体在磁场中受力的现象，不久便制造出了原始的直流电动机。1831 年法拉第 (Faraday) 又发现了电磁感应定律，制造出了原始的直流发电机。1837 年商业化的直流电机问世。在 19 世纪 80 年代以前，直流电机的应用一直占主导地位。1885 年费拉里斯 (Ferraris) 制成了第一台两相感应电动机，1888 年特斯拉 (Tesla) 发明了交流感应电动机。1889 年多利夫-多布罗夫斯基 (Dolivo-Dobrovolsky) 提出了采用三线制的建议，并设计和制造了三相感应电动机。直到 20 世纪初，交流三相制在电力工业中占据了绝对统治地位。

我国的电机制造业基本上是解放后才发展起来的。第一个五年计划期间的“156 项工程”中就有一批电机工业项目。20 世纪 50 年代前后建成了如上海电机厂、哈尔滨电机厂及沈阳变压器厂等大型电机制造骨干企业。我国电机产业经过 60 多年的发展，特别是改革开放 20 多年的快速发展，取得了长足进步。目前，我国电机行业已经形成了一整套完整的业务体系，产品的品种、规格、性能和产量都已基本满足我国国民经济的发展需要。我国中小型电动机保有量已经达到 16 亿千瓦，成为世界上最大的中小型电动机生产、使用和出口大国。但是我国的电机制造业与美、俄等国家的先进水平相比，尚有一定的差距。

当前，电机制造业的发展主要有如下几大趋势。

1) 单机容量不断提高：随着电力工业的不断发展，发电机和变压器的单机容量不断增大，这是电机制造业的重要趋势。

2) 中、小型电机技术和经济指标不断提高：当前，电机制造厂家已经广泛使用计算机辅助设计和计算，能够在优化设计基础上得到最优设计方案和足够精确的数学模型，使得设计技术不断完善。另外，新工艺和新材料的研制成功，都促进了电机技术和经济指标的不断提高。

3) 应用范围不断扩大：为适应各种不同的工作要求，电机的系列和品种不断增加。除了一般用途的电机之外，还有许多特定用途的电机，如防爆电机、矿用电机及潜水电机等。

4) 新型电机不断出现：近年来，新型电机的研制成功使得电机制造业的水平大大提高，如无刷直流电机、开关磁阻电机以及直线电机等。

2. 电力拖动系统的发展概况

电力拖动系统的前期是“成组拖动”，即一台电动机拖动一组生产机械。这种拖动方式的传动损耗大、效率低、控制不灵活，无法满足某些生产机械的起动、制动、正反转及调速等方面的要求。20 世纪 20 年代开始采用“单电机拖动”，即单台电动机拖动单台生产机械。这种拖动方式的缺点是机械传动机构较复杂。现在广泛使用的是“多电动机拖动”，即单台设备中采用多台电动机，大大简化了电力拖动系统的结构，每台电动机都可以单独进行控制，很好地满足了生产工艺的要求。

1959 年，统一的机电能量转换理论为基础的完整体系由怀特（White）和伍德森（Wodaon）提出，并逐步建立起来。进入 20 世纪 60 年代以后，电力电子技术和计算机技术的应用，给电力拖动领域带来了飞速发展，电力电子器件组成的大容量直流电源被设计制造出来，它可以完全取代直流发电机，使直流电动机具有更加优良的调速性能。与此同时，还出现了高性能价格比的变频电源，使交流电机得到高工作精度、宽调速范围等较高的性能指标成为可能。1970 年，勃拉希克（Blaschke）提出了异步电机磁场定向控制方法（矢量调速），使交流电机可以得到与直流电机相媲美的调速性能。随着交流电机矢量控制在理论上和实践中的不断完善、直接转矩控制和无位置传感器控制思想的不断出现，电机理论控制技术得到了飞速发展。

随着电力电子技术、计算机控制技术、微电子技术、信号检测与处理技术及控制理论的发展，电力拖动系统正朝着网络化、信息化及智能化的方向飞速发展。

电机拖动这门“经典的传统技术”正在现代化生产和生活中焕发出更加璀璨的光彩。

0.3 本课程的性质、内容和任务

本课程的性质为自动化及其相关专业的专业基础课。

本课程主要研究电机学和电力拖动系统中的基本结构、工作原理、基本电磁关系、基本方程式及运行性能等相关基础知识，是“电机学”及“电力拖动基础”课程的有机结合。有关闭环控制系统的相关问题不属于本课程的范围。

本课程具有承前启后的作用，学好本课程需要掌握如“数学”“电路”“电磁学”和“力学”等基础知识；学好本课程可为后续课程如“运动控制系统”（包括交、直流调速系统以及位置伺服系统）“电气控制技术”等打下基础。

在运动控制系统中，电动机是其执行机构，电动机的结构原理决定了运动控制系统的设计方法和运行性能。不能很好地掌握各种电机的基本原理和运行性能，就不能透彻地分析系统的动态及静态性能；不能合理地设计和调试各类电力拖动系统；不能很好地学习后续的各门课程。

本课程的内容：

第 1 章 作为预备知识，对有关电路和磁路的基本知识做了简要复习。介绍了磁场的基本物理量，磁路和电路的基本定律，即安培环路定律、电磁感应定律、电磁力定律及电路定律；最后对铁磁材料的基本特性和损耗进行了详细的分析。

第 2 章 主要介绍了直流电机的工作原理、结构及额定数据，分析了电机电枢绕组的组成和磁路系统的特点，推导了直流电机的基本方程式。对于直流发电机，重点介绍了其工作特性和并励直流发电机的自励条件；对于直流电动机，重点介绍了其工作特性和机械特性；

最后对直流电机的换向问题进行了简要说明。

第3章首先介绍了电力拖动系统的动力学基础,内容包括单轴电力拖动系统的运动方程式、多轴系统的折算;然后讨论了各类典型负载的负载转矩特性及电力拖动系统的稳定性问题,针对电力拖动系统的动态运行状态进行了一般分析;最后重点讨论了他励直流电动机的起动、调速和制动方法与性能,并举例分析了直流电力拖动系统在工程实践中的应用。

第4章首先介绍了变压器的基本结构及额定值;然后以双绕组单相变压器为例,分析变压器的工作原理以及空载和负载运行时变压器内部的电磁关系,并在此基础上推导出变压器的基本方程式、等效电路和相量图;给出了变压器参数的测定方法,对变压器的运行特性进行了分析。对于三相变压器,仅对其特有的问题即变压器的磁路系统、电路系统及对电动势波形的影响进行了分析,最后分析了变压器的并联运行及其他用途的变压器。

第5章首先介绍了三相异步电动机的基本结构,进而对其核心部件三相异步电动机的定子绕组及交流绕组的连接规律进行分析,然后对交流绕组产生的单相磁势和三相磁势的性质及计算进行分析,并给出了在正弦分布的旋转磁场作用下交流绕组感应电动势的分析方法。在此基础上分析了三相异步电动机的工作原理及运行状态,重点对三相异步电动机的基本电磁关系进行了分析,从而推导出三相异步电动机的基本方程式、等效电路和相量图,最后对异步电动机的参数测定和工作特性进行了分析,并简要介绍了单相异步电动机。

第6章首先分析了三相异步电动机的机械特性。然后讨论了由三相异步电动机组成的电力拖动系统的运行性能和相关问题,如三相异步电动机的各种起动、调速和制动方法,重点分析了其运行原理、机械特性以及运行性能等相关问题。

第7章首先介绍了三相同步电机的结构、工作原理与额定数据。然后详细地分析了三相同步电动机的内部电磁关系及方程式,如电枢反应、电势平衡方程式、等效电路与相量图。对三相同步电动机的两条重要特性,即三相同步电动机的矩角特性和V形曲线进行了重点讨论。最后针对三相同步电动机不能自行起动的问题,简要介绍了三相同步电动机的起动方法。

第8章介绍了几种在控制系统中常用的控制电机,主要对这些电机的结构、工作原理及运行特性进行分析,了解其应用场合以便在控制系统中正确地使用这类控制元件。

第9章主要介绍了电力拖动系统中电动机的容量选择。首先分析了电动机的发热和冷却过程,着重讨论了按发热观点的平均损耗法与等效法的原理,在此基础上分别介绍了连续工作制、短时工作制及断续周期工作制电动机容量的选择问题。从工程应用出发,介绍了选择电动机功率的工程方法(统计法或类比法)。最后简要介绍了电动机的种类、结构形式、额定电压与额定转速的选择方法等有关内容。

通过本课程的学习,应该掌握以下方法:理论分析方法、计算方法、试验方法、工程分析和计算方法,并能够用基本理论和方法解决实际问题。

0.4 本课程的学习方法

本课程是一门专业基础课,但同时又是一门实践性很强的独立课程。本课程的内容相对比较多,包括直流电机及拖动、变压器、交流电机及拖动、同步电机、控制电机及电动机容量的选择;考虑到电机是实现电能与机械能转换的装置,而电能与机械能的转换是通过电磁场完成的,因此要了解和熟悉电机的各种特性,就需要分析电机内部的电磁过程。